

## カボチャおよびブロッコリーの液状化

本 多 芳 彦<sup>1)</sup>・高 橋 陵<sup>2)</sup>・木 村 亮 介<sup>3)</sup>

Liquefaction of two squashes and a broccoli.

Yoshihiko HONDA<sup>1)</sup>, Ryou TAKAHASHI<sup>2)</sup> and Ryousuke KIMURA<sup>3)</sup>  
(Accepted 19 July 2012)

### はじめに

北海道では野菜や果物などの農産物が大量に生産されており、この多くがそのまま消費されるか、原料として道外に送られ、食品加工の原料として利用されている。多くの農産物がこのように有効に利用されている一方、農家や農協および卸業者が商品として成形するために除去した部分や商品として規格に適合しないものすなわち規格外品は廃棄されるか、有効に利用されているとしても飼料や肥料としてしか用いられていない。因みに北海道における規格外野菜の量は2008年で約20,225トンもある<sup>1)</sup>。

また、カボチャなどを冷凍食品や総菜加工会社などへ原料として供給している会社などでは加工時に発生するワタや種など、さらにジュース、ワイン、日本酒、醤油、漉し餡、コロッケなどを製造する工場では搾り粕や屑パン粉など多くの廃棄物が発生している。

しかし、これらの規格外品や食品工場で発生している廃棄物は元来食品であり、その加工方法を考えれば再度食品の原料とすることが可能である。特に規格外として扱われている野菜や果物は商品として扱われているものに比べて形や色がやや劣っているだけで、その他は全く同じであり、すぐに食用になるものである。

したがって、これら規格外品や廃棄されているものを再度食品として利用できる形態にできれば、無駄はなくなるという考えのもと、「形を一旦無くして再度形を作る」、すなわち「ペースト化して、これを食品加工用の素材として用いる」という目標を立て、

酵素処理と機械的微細化処理との組合わせで野菜などの食物繊維の一部を液状化させ、食感の滑らかなペーストにすることを目指した。

この方法を応用した例として、著者ら<sup>2)</sup>が開発した漉し餡を製造する際に発生する小豆の皮を数種類の酵素を同時に使用して反応処理した後、機械的処理によってペースト状にしたものを原料として用いた「低カロリー小豆スイーツ」がある。これは商品化されており、特にカロリーを気にしている人や糖分の摂取を気にしている人から好評を得ている。

このようなペースト化処理に関する研究や特許<sup>3)4)5)</sup>としては野菜や果物および食品加工で発生する残渣を酵素や機械によって処理する方法に関するものが数件認められる。

その他に、酵素を利用した研究としては澱粉を分解することによってサツマイモの甘味の増加や老化防止をはかるもの<sup>6)</sup>、およびポテトパルプやビートパルプのペースト化<sup>7)</sup>に関するものなどがある。

最近では凍結・解凍したゴボウやタケノコ<sup>8)</sup>、ジャガイモやニンジン<sup>9)</sup>、および白花豆<sup>10)</sup>に減圧下で酵素を含浸させ、これらに含まれる食物繊維組織を崩壊させて柔らかくするという方法が報告されている。また、食品加工時発生する端材などの利用研究では武田ら<sup>11)</sup>が干し芋を製造する際発生する残渣を糖化・発酵処理し、蒸留することによりバイオタノールが生産できることを、および古田ら<sup>12)13)</sup>は味噌の製造工程で発生する大豆蒸煮液や製餡工程で発生する小豆や手亡豆の煮汁を原料として乳酸発酵させることにより抗酸化力のある機能性飲料ができることと小豆や手亡の種皮を酵素処理することにより

<sup>1)</sup> 酪農学園大学農食環境学群食と健康学類食品企画開発研究室  
Department of Foods Distribution, Food Planning and Development, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido

<sup>2)</sup> 高橋牧場  
Takahashi ranch

<sup>3)</sup> 株式会社高橋商事  
Takahashi Shoji Co., Ltd.

乳酸発酵が向上することを報告している。このように酵素を用いて加工する方法についての研究は多い。

さらに、澱粉を含む野菜や果物の付加価値を高める方法としては、ペースト状にした後、これらに含まれる澱粉質を酵素で糖化处理し、白餡および砂糖などを加えて餡にする方法<sup>14)</sup>が特許として出願されている。

そこで、著者らは食用に供されているえびすカボチャの果肉やブロッコリーの花蕾、および未利用資源であるペポカボチャ<sup>15)</sup>の果肉やワタ、さらに通常廃棄されているブロッコリーの葉や茎などの用途を広めるために、まず植物組織を酵素によって分解して一部を液状化させた後、機械的に処理することによって従来品にない滑らかな食感のペーストを作り、スイーツ、パン、スープおよび飲料などの原料として利用することを目指した。

本研究では酵素による反応がこれらの野菜の物性や形状にどのような影響を及ぼすかについて検討したので報告する。

## 1. 実験方法

### 1.1 試料

実験に使用した野菜は西洋カボチャであるえびすカボチャおよび食用に適さないおもちゃカボチャとも言われるペポカボチャ、さらにブロッコリーである。これらをそれぞれ加熱処理後、えびすカボチャとペポカボチャについては皮を除去し、果肉のみとしたものを潰してからワーリングブレンダー（大阪ケミカル製）で微細化処理したものおよび加熱処理のみしたペポカボチャのワタを、またブロッコリーについては花蕾、葉および茎のすべてをあるいはそれらの一部をフードプロセッサーで処理したものおよび1.5倍に希釈したブロッコリーについては加水後ワーリングブレンダーで微細化処理したものを試料とした。

### 1.2 酵素反応処理

ワーリングブレンダーやフードプロセッサーで微細化処理したえびすカボチャやペポカボチャの果肉およびブロッコリーあるいはペポカボチャのワタを複数の遠沈管 (50 ml) にそれぞれ 30 g ずつ入れ、恒温水槽で 50℃ にした後酵素を添加し、これら野菜に含まれる食物繊維の分解処理を行った。

使用した酵素はスクラーゼ C (セルラーゼ：40%，三菱化学フーズ工業製)，スクラーゼ X (ヘミセルラーゼ：40%，三菱化学フーズ製) およびスクラー

ゼ N (ペクチナーゼ 15%，三菱化学フーズ製) の 3 種類<sup>16)</sup> で、これらの中の 1 種類あるいは数種類使用し、試料の重量 (wet) に対する割合で添加した。所定時間反応処理した試料については 80℃ まで加温し、10 分間保持することによって酵素を失活させた。

なお、液化率と粘度測定用の試料については恒温水槽から遠沈管に入った状態で取り出した後約 20～25℃ まで急冷し、酵素の相対活性が 30% 以下になるようにしてから測定に供した。また、粒径分布測定や成分分析に用いたえびすカボチャとブロッコリーの試料については恒温水槽から所定時間ごとに取り出した遠沈管に入った試料をそのままの状態では 80℃ 以上に加熱し、酵素を失活させてから使用した。

### 1.3 液化率および固形分の測定

えびすカボチャ果肉、ペポカボチャの果肉やワタおよびブロッコリーを 30 g ずつ遠沈管 (50 ml) に入れ、50℃ に加温してから酵素を添加し、所定時間ごとに恒温水槽から取り出して急冷したものを吸引ビンに設置した濾過ロート内の No.1 (直径：70 mm) の濾紙上にかけ、アスピレーターで 5 分間吸引することによって液状化した部分を除去し、濾紙に残った試料の重量 (wet) を測定した。

同様の方法で濾過処理して測定した反応前試料の濾紙上に残った試料の重量 (wet) から反応時間ごとの試料の重量 (wet) を引き、この差を前者の重量で割ることにより、液状化の割合すなわち液化率を求めた。

また、濾紙上に残った試料の固形分については試料を濾紙ごとシャーレに移し、これを乾燥機に入れ、90℃ で一晩乾燥させ、乾燥前後の重量から計算して求めた。

### 1.4 粘度測定

酵素処理過程のペポカボチャやえびすカボチャの果肉およびブロッコリーの粘度については遠沈管 (50 ml) に入れて反応させておいた試料を所定時間ごとに恒温水槽から取り出し、20～25℃ まで急冷した後、粘度測定用のサンプル容器に入れ、振動式粘度計 SV-10 (エー・アンド・ディ製) で測定した。

### 1.5 粒度分布測定

レーザー式粒度分布測定器 LA-750 (HORIBA 製) によって測定した。この測定器では粒子に光が当たると粒子から発生する散乱 (回折) 光を測定する方法によって粒子の大きさが測定される。すなわち、この散乱光は粒子径が大きい場合、前方に集中

するが、小さい場合は全方向に散乱するという原理に基づいて測定する機器である。

## 1.6 成分分析方法

えびすカボチャの成分分析方法について以下に示す。

水分については減圧加熱・乾燥助剤法（70℃，5時間）で，またタンパク質についてはケルダール法および脂質については酸分解処理した後ソックスレー抽出法で測定した。さらに，食物繊維についてはプロスキー変法によって測定し，また炭水化物および糖質については差し引き換算法で求めた。

## 2. 実験結果および考察

### 2.1 ペポカボチャ果肉の酵素処理

#### 2.1.1 濾紙上のペポカボチャの固形分

酵素反応による液化率は吸引ビンに設置した濾過ロート内の濾紙上に遠沈管中のペポカボチャ果肉を空け，5分間吸引濾過した後，濾紙上に残ったペポカボチャ果肉の重量（wet）と無処理の重量（wet）との差から求めることにしたが，濾紙上に残るペポカボチャ果肉の固形分が一定でないと液化率を求めたことにはならない。

そこで，これを確認するために濾紙上に残ったペポカボチャ果肉の固形分を求めた。それらの結果を表1に示す。表に示されるように固形分は8.68～9.99%となり，約1.3%の差があったが，許容範囲であると考え，液化率を求める方法として1.3に示した方法が適用できると判断した。

#### 2.1.2 反応時間と液化率との関係

複数の遠沈管に入れたペポカボチャ果肉30gを50℃に加温し，これにセルラーゼ系のスクラーゼC，ヘミセルラーゼ系のスクラーゼXおよびペクチナーゼ系のスクラーゼNの酵素を1種類のみ，または2種類，およびこれらすべてを用いて反応実験を行った。

図1に反応時間と濾紙を透過したペポカボチャ果

肉の重量の割合すなわち液化率を示す。この反応時間に対し，この割合が多いほど液状化される速度が速いことを表している。この図からも明らかなように，液化率は酵素の違いや組合わせによって大きく異なっている。

まず，1種類のみを用いた時の液化率はスクラーゼC：0.1%では150分経過後でも8.6%と低く，またスクラーゼX：0.1%では30分後で18.0%となったが，その後の変化は少なく，150分経過後であっても25.0%までしか到達しなかった。一方，スクラーゼN：0.1%のみでの液化率は30分後で22.0%となり，その後徐々に上昇し，150分後では32.0%まで達し，1種類のみを用いた中では最も高い値を示した。

次に，2種類以上の酵素を混合して利用した場合では，スクラーゼC：0.1%とスクラーゼX：0.05%，すなわちセルラーゼ系とヘミセルラーゼ系の酵素の組合せでの液化率が150分後で21.0%を示した。この値はスクラーゼCのみの場合に比べて高い値であり，またスクラーゼXのみの場合とほぼ同値であった。

また，スクラーゼC：0.1%とスクラーゼN：0.1%を組合わせた場合，液化率は反応30分で31.0%まで急激に増加し，150分で69.7%まで達し

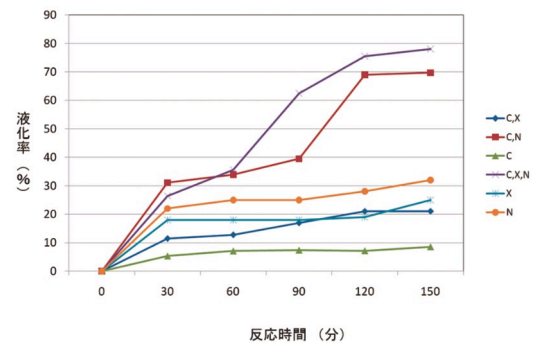


図1 ペポカボチャ果肉の酵素による液状化  
スクラーゼの添加率が1種類の場合 C：0.1%，N：0.1%，X：0.1%  
スクラーゼの添加率が2種類あるいは3種類の場合 C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

表1 濾紙上のペポカボチャ果肉の固形分 (%)

酵素	反応時間 (分)					
	0	30	60	90	120	150
スクラーゼC, X	9.34	9.64	9.12	9.14	9.37	9.23
スクラーゼC, N	9.08	8.68	9.30	9.08	9.82	9.99
スクラーゼC	9.21	9.62	9.60	9.39	9.41	9.77
スクラーゼC, X, N	9.05	9.53	8.79	9.20	9.81	9.60

スクラーゼC：0.1%，スクラーゼN：0.1%，スクラーゼX：0.05%

た。このように、スクラーゼNを加えた場合の液化率はスクラーゼCのみの場合に比べて大幅に増加した。この液状化の効果はスクラーゼXを加えるより顕著であり、スクラーゼCとスクラーゼNとの組み合わせは欠かせないと考えられる。

さらに、スクラーゼC：0.1%とスクラーゼN：0.1%、スクラーゼX：0.05%の3つの酵素を使用した場合での液化率は直線的に増加し、反応後60分で35.6%となり、150分後では78.0%まで達し、実験した条件の中では最も高い値を示した。

以上の結果から、スクラーゼC、スクラーゼX、スクラーゼNをそれぞれ単独で使用情况、またスクラーゼCとXを組合わせた場合でも液状化の割合は低い、スクラーゼCにスクラーゼNを添加した場合には液状化が促進され、さらに3種類すべてを用いた場合ではより速くなり、その液化率は150分後で78.0%にもなり、果肉の大部分が液状化されることが分かった。

### 2.1.3 反応時間と粘度との関係

図2に上記酵素で反応させた時のペポカボチャ果肉の粘度の変化を示す。酵素処理したペポカボチャ果肉の粘度は反応後短時間で低下している。特に、スクラーゼCとスクラーゼNとの組合わせでの粘度は初期の4870 mPa・sから反応30分で1200 mPa・sまで急激に低下し、さらに150分後では18.3 mPa・sまで低下した。この酵素の組合わせでの液化率が短時間で上昇していることから、粘度の大幅な低下はこの結果を反映している。

また、スクラーゼCとスクラーゼN、スクラーゼXを混合して使用した場合では無処理での4750 mPa・sから反応30分後で571 mPa・sまで大幅に

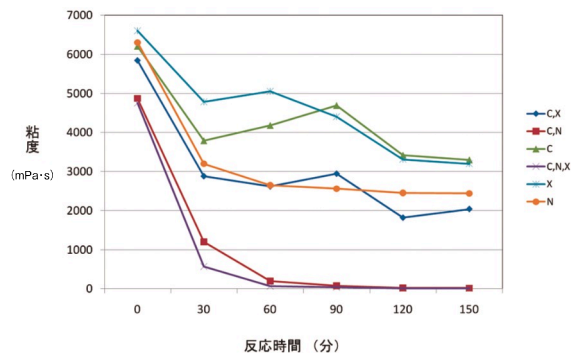


図2 ペポカボチャ果肉の酵素処理による粘度変化  
スクラーゼの添加率が1種類の場合 C：0.1%，N：0.1%，X：0.1%  
スクラーゼの添加率が2種類あるいは3種類の場合 C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

下がり、その後もさらに低下し、150分後では10 mPa・sまで低下した。この場合もこの間ペポカボチャの果肉が急激に液状化されていることからこの変化と一致する。

一方、液化率の低いスクラーゼC：0.1%のみでの粘度は無処理での6200 mPa・sから30分後で3790 mPa・sとなり、150分後では3300 mPa・sとなった。この場合の液化率はそれぞれ、30分後で5.3%および150分後で8.6%と低い値を示したが、粘度の値は無処理の時に比べて約1/2になっている。この粘度低下の要因は果肉の食物繊維の一部が分解されて微細化され、さらに液状化されることにより、これが食物繊維間の潤滑剤として働いたことおよびペポカボチャ果肉の絡まっていた食物繊維が酵素によって分解され、ほどけることによって流動化し易くなったことによると考えられる。

また、スクラーゼXのみの場合およびスクラーゼNのみの場合の粘度は反応150分後でも2400 mPa・s以上であり、およびスクラーゼCとXを組合わせた場合の150分反応後の粘度についても2040 mPa・sと高い値を示した。これらの液化率はスクラーゼC、X、Nの全てを組合わせた場合やスクラーゼC、Nを組合わせた場合に比べてかなり低かったことから、これらの結果を反映していると言える。

### 2.1.4 液化率と粘度との関係

ペポカボチャ果肉の液化率と粘度との関係を図3に示す。ペポカボチャの果肉が液状化されることにより粘度が急激に低下しているのが認められた。これらの関係を指数関数で近似すると  $y = 9189.5e^{-0.086x}$  (相関係数 0.8761) で表された。

## 2.2 ペポカボチャのワタの酵素処理

### 2.2.1 反応時間と液化率との関係

ペポカボチャのワタ 30 g を複数の遠沈管にとり、50℃に加温後、これにスクラーゼC、スクラーゼX

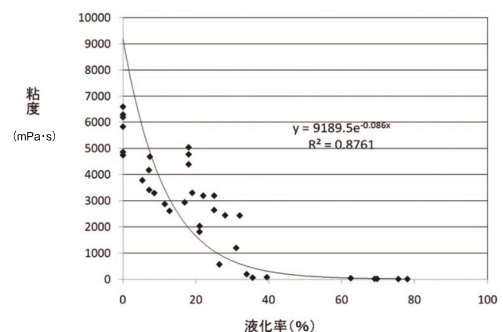


図3 ペポカボチャ果肉の液化率と粘度との関係



およびスクラーゼNの酵素を1種類のみ、または2種類、およびこれらすべてを用いて反応実験を行った。反応時間と液状化して濾紙を透過したワタの割合すなわち液化率との関係を図4に示す。

図から明らかなように、スクラーゼC：0.1%とスクラーゼX：0.05%を添加した場合での液化率は30分後で1.2%となり、150分後でも8.4%にしか到達しないことが、一方、スクラーゼC：0.1%とスクラーゼN：0.1%を添加した場合では反応30分で48.6%まで急激に増加し、120分後では67.7%まで達し、その後150分では65.4%に低下しているのが、さらにスクラーゼC：0.1%とスクラーゼN：0.1%、スクラーゼX：0.05%の3種類を用いた場合での液化率は反応後30分で56.24%となり、120分後および150分後ではそれぞれ76.2%、73.0%になるのが認められた。

後者の2つの場合では150分での液化率が120分の時に比べてやや低下したが、液状化されたものが凝集して濾紙を透過しなくなることはないことから、測定上の誤差であると考えられる。

これらの結果についてもペポカボチャ果肉の酵素による反応処理の場合と同様に、液状化に対してセルラーゼとペクチナーゼの効果は大きい、ヘミセルラーゼの効果は低いことを示唆している。

## 2.3 えびすカボチャの酵素処理

### 2.3.1 反応時間と液化率との関係

えびすカボチャ果肉（水分：82.8 g/100 g）30 gを複数の遠沈管に入れて50℃に加熱し、これにスクラーゼC：0.1%、スクラーゼX：0.05%およびスクラーゼN：0.1%を添加し、75分間反応させた。

図5に反応時間と濾紙を透過したえびすカボチャ果肉の重量の割合すなわち液化率を示す。この図からも明らかなように反応後短時間で液状化が始まるのが分かる。特に反応15分後までの液状化が急激であり、液化率は35.4%まで達した。しかし、その

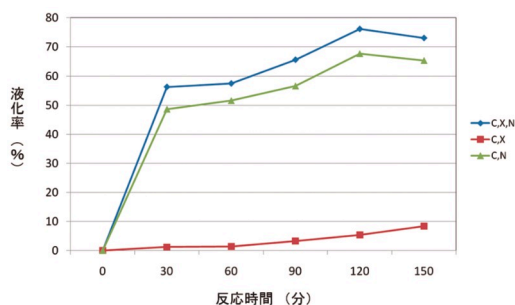


図4 ペポカボチャのワタの酵素による液状化  
スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

後の反応は緩やかであり、75分でも44.9%までしか達しなかった。

### 2.3.2 反応時間と粘度との関係

図6にえびすカボチャ果肉の粘度の変化を示す。酵素処理したえびすカボチャ果肉の粘度は反応後短時間で低下し、初期の6300 mPa・sから、反応15分で半分以下の2530 mPa・sまで急激に低下した。

この粘度の低下は液状化が反応15分間で急激に増加したためである。すなわち、この間にえびすカボチャ果肉の食物繊維が細かく切られ、さらに液状化されたことにより、今まで食物繊維同士が絡まって抵抗になっていたところが外れたこと、またこの液が食物繊維の間に入って全体を流れ易くしたことによると考えられる。

### 2.3.3 えびすカボチャの粒度分布の変化

えびすカボチャ果肉中固形物の粒径をレーザー式粒度測定装置で測定した。えびすカボチャに含まれる食物繊維は細長い形状をしているが、この測定機では比表面積を求め、球形の粒子として表し、それらの直径を求めている。

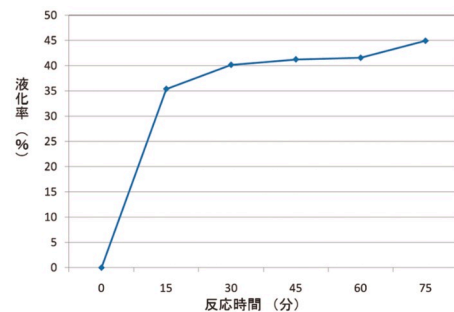


図5 えびすカボチャの果肉の酵素による液状化  
3種類のスクラーゼを混合して使用  
スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

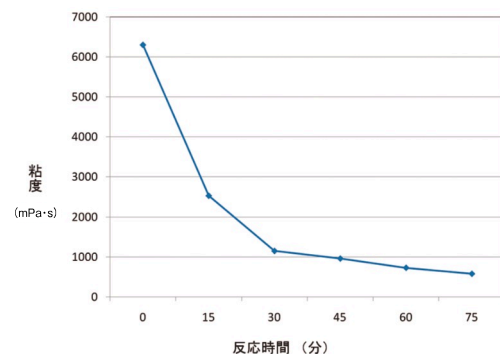


図6 えびすカボチャ果肉の酵素処理による粘度変化  
3種類のスクラーゼを混合して使用  
スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

酵素処理前のえびすカボチャの固形物の粒度分布測定結果から、粒径  $110\ \mu\text{m}$  に大きな頻度のピークがあり、また  $10\ \mu\text{m}$  に小さなピークがあるのが認められた。

図 7 にえびすカボチャを酵素で処理した場合の粒径の変化をメジアン径と算術平均径とで示す。酵素処理前のえびすカボチャのメジアン径は  $100.9371\ \mu\text{m}$  から酵素処理 75 分では  $86.0462\ \mu\text{m}$  となり、また算術平均径は  $99.3422\ \mu\text{m}$  が反応 75 分後で  $88.5602\ \mu\text{m}$  となり、粒子は小さくなっていることが分かった。

このえびすカボチャ果肉の粒径の頻度は酵素反応によって変化し、反応時間の経過と共に大きな粒径の頻度が減少し、小さい粒径の頻度が増加していくものと考えられる。

そこで、大きい方としては  $200.000\ \mu\text{m}$  と  $152.453\ \mu\text{m}$  の頻度、また小さい方では  $51.471\ \mu\text{m}$ 、 $29.907\ \mu\text{m}$  および  $15.172\ \mu\text{m}$  の頻度に注目し、それらの経時的な変化を図 8 に示す。この図に示されるように、前者の粒径の頻度は反応時間と共に低下し、後者の粒径の中では特に  $51.471\ \mu\text{m}$  の頻度が上昇しているのが認められた。この結果からも酵素によってえびすカボチャの食物繊維が切れ、微細化

されているのが示唆される。

### 2.3.4 反応時間による成分の変化

表 2 にえびすカボチャ果肉の反応時間ごとの成分分析結果を示す。

食物繊維は無処理の  $3.4\ \text{g}/100\ \text{g}$  からスクラーゼ C、スクラーゼ X およびスクラーゼ N の 3 種類の酵素によって分解され、反応処理 15 分で  $2.6\ \text{g}/100\ \text{g}$  まで減少したが、その後はほぼ一定になった。糖質については炭水化物の量から、食物繊維量を差し引いて求められることから、食物繊維の減少分は糖質の増加分になるが、炭水化物の量が無処理の場合に比べて 15～75 分の測定値の方が  $0.2\sim0.7\ \text{g}/100\ \text{g}$  高い値を示しており、これが糖質の増加に影響したと考えられる。

上記のように、この炭水化物の量に差が生じていたが、この値は反応時間に関わらず一定になるはずである。この要因として、反応後加熱処理によって酵素を失活しているため、この時水が蒸発したことにより、相対的に炭水化物の割合が上昇したことが考えられる。そこで、酵素処理した試料の水分を無処理の時の  $82.8\%$  として各反応時間の炭水化物の量を補正したところ、15 分反応での  $13.8\ \text{g}/100\ \text{g}$  を除いて  $14.0\ \text{g}/100\ \text{g}$  になった。同様に食物繊維量を

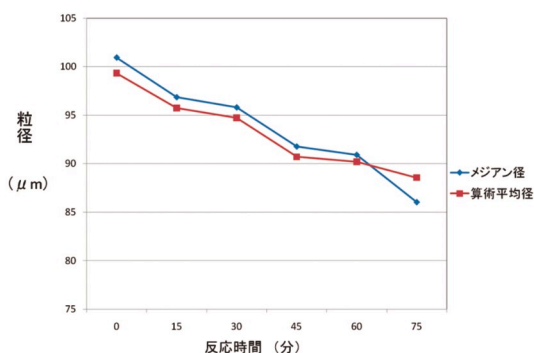


図 7 酵素反応によるえびすカボチャ中固形物の粒径変化

3 種類のスクラーゼを混合して使用

スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

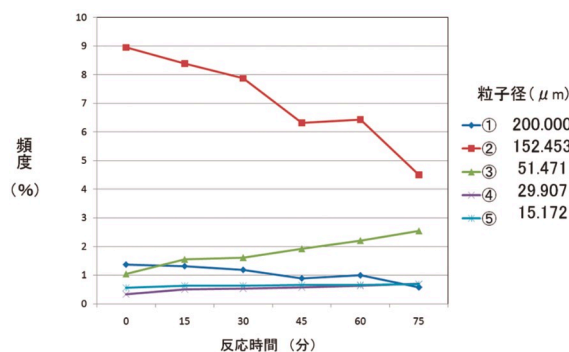


図 8 各粒径の頻度の変化

3 種類のスクラーゼを混合して使用

スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

表 2 酵素処理によるえびすカボチャの栄養成分への影響

反応時間 (分)	熱量 (kcal/100g)	たんぱく質 (g/100 g)	脂質 (g/100 g)	炭水化物 (g/100 g)	水分 (g/100 g)	灰分 (g/100 g)	ナトリウム (mg/100 g)	食物繊維 (g/100 g)	糖質 (g/100 g)
0	60	1.9	0.4	13.9	82.8	1.0	1 未満	3.4	10.5
15	64	1.9	0.5	14.3	82.2	1.1	1 未満	2.6	11.7
30	65	1.9	0.5	14.6	82.0	1.0	1 未満	2.6	12.0
45	64	1.8	0.5	14.3	82.4	1.0	1 未満	2.4	11.9
60	63	1.8	0.5	14.2	82.5	1.0	1 未満	2.6	11.6
75	61	1.8	0.5	14.1	82.7	0.9	1 未満	2.5	11.6

補正したところ酵素処理したもので2.3~2.6 g/100 gとなった。このようにして補正した炭水化物と食物繊維の量との差から糖質を計算して求めたところ15分で11.3 g/100 gとなり、また75分で11.5 g/100 gになった。

このように補正した値からも酵素で処理したものは食物繊維が無処理の3.4 g/100 gから減少しているのが、および糖質が10.5 g/100 gから増加しているのが認められ、えびすカボチャの食物繊維は酵素処理によって細かくなると共に、その一部は糖質まで変化していることが示唆される。

### 2.3.6 光学顕微鏡による酵素処理したえびすカボチャ果肉の観察

図9に酵素による反応前および75分間反応させた時のえびすカボチャ果肉の光学顕微鏡による観察結果を示す。反応前のえびすカボチャ果肉には長い食物繊維が多数認められたのに対し、液化率44.9%の反応75分後のえびすカボチャ果肉には短くなった食物繊維が多数認められた。粒径の変化からだけでなく顕微鏡観察結果からも酵素によって食物繊維が切断され、細かくなっているのが分かる。なお、食物繊維の周りに多数見られる円形の細かな粒子はカボチャの澱粉である。

## 2.4 ブロッコリーの酵素処理

### 2.4.1 反応時間と液化率との関係

ブロッコリー（花蕾、葉、茎）（水分：90.9 g/100 g）を加熱処理し、フードプロセッサーで粉碎処理を行った後にこの重量の1/2量の水を加えた。次に、この1.5倍に希釈して流動化させたブロッコリーをワーニングブレンダーで微細化処理した後50℃に加温し、これにスクラーゼC：0.1%のみ、またはスクラーゼC：0.1%とスクラーゼX：0.05%の2種類を、およびこれらにスクラーゼN：0.1%を

加えた条件で反応実験を行った。

図10に反応時間と液状化して濾紙を透過したブロッコリーの重量の割合を示す。この反応時間に対し、この割合が多いほど液状化速度が速いことを表している。この図からも明らかなようにブロッコリーについてもカボチャの場合と同様に反応後短時間で液状化が始まっていることが分かる。

液化率はスクラーゼC：0.1%のみの場合では75分経過後でも15.3%と低く、またスクラーゼC：0.1%とスクラーゼX：0.05%の2種類を組合わせた場合でも75分後で18.3%と低い値を示した。さらに、スクラーゼC：0.1%とスクラーゼN：0.1%およびスクラーゼX：0.05%の3種類の酵素を用いた場合では75分後で20.5%となり、液化率は上記の2つの場合に比べてやや高い値となった。

また、このブロッコリーの液化率を3種類の酵素を用いた時のえびすカボチャの場合と比較すると、えびすカボチャが75分反応で44.9%であったことからかなり低いと言える。ブロッコリーの食物繊維は4.6 g/100 gであるのに対し、えびすカボチャでは3.4 g/100 gであり、前者の方が多いが、この実験ではブロッコリーに水を加えて1.5倍に希釈したことから食物繊維量としては3.1 g/100 gとなり、えびすカボチャに比べて少なくなっている。一方、えびすカボチャの水分が82.8 g/100 gであるのに対し、加水後のブロッコリーが90.9 g/100 gであり、このため後者の酵素は希釈されていることになる。これによる反応効率の低下を考慮しても液化率の差が大きいことから、ブロッコリーの食物繊維の分解はえびすカボチャに比べて難しいと考えられる。

したがって、酵素を用いてブロッコリーの組織をより分解して液状化させるには酵素の濃度を高めるか反応時間を長くしなければならない。そこで、3種類の酵素を添加したブロッコリーを50℃、24時間で反応させたところ、完全に液状化されているのが

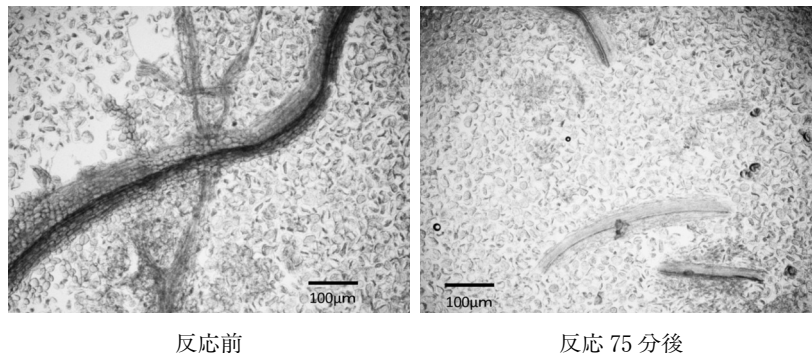


図9 えびすカボチャの食物繊維

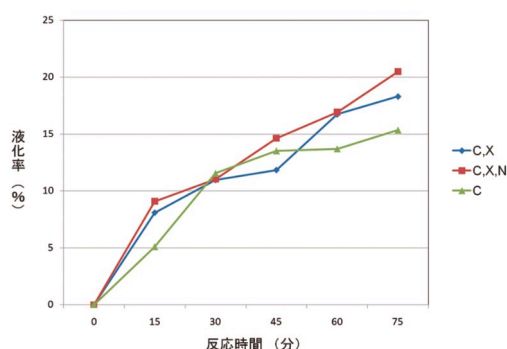


図 10 ブロッコリーの酵素による液状化

花蕾、茎、葉の混合したものを破碎処理後 1.5 倍に希釈したものを使用

酵素は 3 種類のスクラーゼを混合して使用

スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

可視的に認められた。また、ブロッコリーの粘度については経時的には測定していないが、無処理での 9260 mPa・s から反応 75 分後で 4310 mPa・s まで低下することを確認しており、これは一部の食物繊維の微細化と液状化によって流れ易くなっていることを示している。

#### 2.4.2 ブロッコリーの粒度分布の変化

ブロッコリー中固形物の粒径をレーザー式の粒度測定装置で測定した。カボチャの場合と同様にブロッコリーには細長い繊維が多く含有しているが、この測定機では比表面積を求め、球形の粒子としての直径を求めている。

酵素処理していないブロッコリー中固形物の粒径の頻度分布の測定結果から 150  $\mu\text{m}$  近傍に頻度の大きなピークがあるのが認められた。

図 11 にブロッコリーをスクラーゼ C：0.1% とスクラーゼ N：0.1% およびスクラーゼ X：0.05% の全ての酵素を用いて処理した時の粒径の変化をメジアン径と算術平均径の変化で示す。酵素処理前のブロッコリーのメジアン径は 119.7342  $\mu\text{m}$  であり、反応 75 分では 88.9725  $\mu\text{m}$  まで、また算術平均径では無処理の 114.7641  $\mu\text{m}$  が反応 75 分では 90.2649  $\mu\text{m}$  まで小さくなっていた。

ここでは示していないが、頻度分布から反応時間の経過と共に 100  $\mu\text{m}$  以上の粒径の頻度が低下し、それ以下の頻度が上昇しているのが認められ、ブロッコリーの食物繊維が分解され、小さくなっているのが示唆された。

#### 2.4.2 ブロッコリーの各部位の酵素による液状化

ブロッコリーの花蕾、葉および茎のすべて、また

はその一部を湯煮のみあるいは油調と湯煮した後フードプロセッサーで粉碎して微細化した。これらにスクラーゼ C：0.1%，スクラーゼ X：0.05% およびスクラーゼ N：0.1% の酵素を加えて反応実験を行った。

図 12 に反応時間と液状化して濾紙を透過したブロッコリーの重量の割合を示す。前処理として油調後湯煮した花蕾、葉および茎のすべてを試料としたものでは、液化率が 150 分後で 16.0% となった。一方、湯煮したものでは 150 分後で 14.0% となった。この結果から湯煮のみと湯煮および油調処理したものとの間の差はないと言える。

また、湯煮のみの試料について液化率を部位で比較したところ、葉と茎のみの組合わせが他に比べて低くなっているのが認められた。他の試料には花蕾が含まれており、これが茎や葉に比べて柔らかい食物繊維を多く含むため、酵素によって分解され易かったものと考えられる。

#### おわりに

北海道には野菜や果物の規格外品や食品加工過程

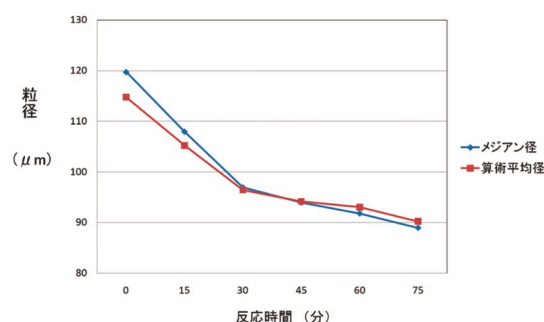


図 11 酵素反応によるブロッコリー中固形物の粒径変化

花蕾、茎、葉の混合したものを破碎処理後 1.5 倍に希釈したものを使用

酵素は 3 種類のスクラーゼを混合して使用

スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%

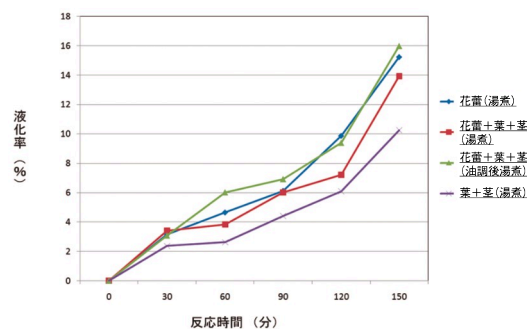


図 12 ブロッコリーの酵素による液状化

スクラーゼの添加率：C：0.1%，N：0.1%，X：0.05%



で発生する残渣が多く、それらは廃棄されているか、有効利用されているとしても飼料や肥料にしか用いられていない。著者は「規格外品や加工過程で発生する廃棄物は食品である」という立場に立ち、「形を一旦無くして再度形を作る」という考え、すなわち、「ペースト化してこれを各種食品の素材にする」という考えに基づき、酵素と機械的処理によって滑らかな食感のペーストにすることを目指し、食物繊維の一部を液状化させた。

本研究では食用には適さないペポカボチャの果肉やワタ、ブロッコリーの葉や茎、および食用として利用されているえびすカボチャの果肉やブロッコリーの花蕾などを試料として酵素によって処理したところ、セルラーゼ系のスクラーゼC、ヘミセルラーゼ系のスクラーゼXおよびペクチナーゼ系のスクラーゼNの3種類の酵素を使用することによって、これら野菜の一部を液状化できることを確認した。

上記の3種類の酵素の組合せにより50℃の条件で反応させた場合、液化率はペポカボチャ果肉では150分後で78.0%、またえびすカボチャ果肉では75分後で44.9%、さらに1.5倍に希釈したブロッコリーでは20.5%となった。これらの結果からブロッコリーの食物繊維はカボチャに比べて分解しにくいことが明らかとなった。

また、粘度についてはペポカボチャ果肉が無処理での4750 mPa・sから150分後の10 mPa・sまで、またえびすカボチャ果肉では6300 mPa・sから75分後の580 mPa・sまで、およびブロッコリーでは9260 mPa・sから4310 mPa・sまで低下した。このように、試料中の食物繊維の一部が液状化されることによって粘度は大きく低下することが分かった。

さらに、酵素処理によって食物繊維の一部を液状化させると共にその強度を低下させたものを機械的に処理することによって、食物繊維はより微細化され、滑らかな食感のペーストになる。未利用資源や廃棄物をこのような方法で加工して作ったペーストはスイーツ、パン、スープおよび飲料の原料として利用可能になることから、これら未利用資源の付加価値は大幅に向上したことになる。

## 要 旨

食料生産基地である北海道には野菜の規格外品が多い、それらは廃棄されているか、試料や肥料にしか用いられていない。因みに北海道における規格外の野菜は2008年で約20,225トンもある。そこで、これらを食品素材として利用するため、食感の滑らかなペーストにすることにした。

そこで、本研究ではペポカボチャ、えびすカボチャおよびブロッコリーを試料として酵素処理による液状化の可能性を調べた。

その結果、セルラーゼ（スクラーゼC：0.1%）、ヘミセルラーゼ（スクラーゼX：0.05%）およびペクチナーゼ（スクラーゼN：0.1%）の3種類の酵素を使用することによって、これら野菜の一部が液状化されることを確認した。これらの酵素を用いて50℃の条件で反応させた場合、液化率はペポカボチャでは150分後で78.0%となり、またえびすカボチャでは75分後で44.9%となり、さらにブロッコリーでは75分後で20.5%となった。

また、ペポカボチャの粘度は4750 mPa・sから150分後の10 mPa・sまで、またえびすカボチャでは6300 mPa・sから75分後の580 mPa・sまで、およびブロッコリーでは9360 mPa・sから75分後の4310 mPa・sまで低下した。このようにカボチャやブロッコリーのペーストはそれらの一部が液状化され、滑らかなペーストになった。

このように酵素によって処理した野菜の食物繊維は大変脆くなっていることから、さらに機械的に微細化処理することによって、より滑らかな食感のペーストにすることが可能である。

未利用資源や食品工場で発生する残渣をこのようにして処理することにより、スイーツ類や飲料の原料として利用可能なものになる。

## 参 考 文 献

- 1) 経済産業省北海道経済産業局資源エネルギー環境部環境産業振興室、「北海道第一次産業由来副産物廃棄物利活用」(2008)。
- 2) 本多芳彦, 酪農学園大学紀要, 35, 1, 43-56 (2010)。
- 3) 特開 2009-296890 (P 2009-29680 A), 高田清俊。
- 4) 馬場紀子, 堤 智博, 福岡県農業総合試験場研究報告, 26, 13-17 (2007)。
- 5) 富永一哉, 榎 賢治, 北海道立総合機構食品加工研究センター, No.9, 45-48 (2011)。
- 6) 瀬戸口眞治, 亀澤浩幸, 松永一彦, 安藤義則, 下野かおり, 中村寿一, 米麴の糖化力を利用したさつまいもペースト製造技術の開発, 鹿児島県工業技術センター, No.24, 7-12, (2010)。
- 7) Tatsuro Miyaji, Shuki Fujimura, Tomoyuki Nakagawa and Ayumu Takano, Practical liquefaction of potato pulp and sugar-beet pulp by commercial enzymes, Journal of agriculture science, Tokyo University, 52, 3,

- 147-150 (2007).
- 8) Koji Sakamoto, Kenya Shibata and Masako Ishihara, *BaioSci. Biotechnol. Biochem.*, Decreased hardness of dietary fiber-rich foods by the enzyme-infusion method, 70, (7), 1564-1570 (2006).
  - 9) 坂本宏司, 石原理子, 柴田賢哉, 井上敦彦, 凍結減圧酵素含浸による植物組織の軟化および単細胞化, 日本食品工業科学会誌, Vol.51, No.8, 395-400 (2004).
  - 10) 柴田賢哉, 石原理子, 凍結含浸法を用いた白花豆の硬さ制御技術の開発, 日本食品工業科学会誌, Vol.53, No.11, 566-571 (2006).
  - 11) 武田文宣, 坂井祥平, 長谷川裕正, 中川力夫, 干し芋加工残さの利用に関する研究, 茨木研工業技術センター研究報告, 第39号, 39-43 (2010).
  - 12) 古田正範, 黒田理恵子, 福岡県工業技術センター研究報告, 食品関連未利用資源の素材化に関する調査研究, 大豆蒸煮液を利用した乳酸発酵食品の試作, No.14, 39-42 (2004).
  - 13) 古田正範, 樋口智子, 黒田理恵子, 塚谷忠之, 樋口智子, 廣藤祐史, 福岡県工業技術センター研究報告, 食品関連未利用資源の機能性付加による素材化に関する研究, 豆類煮汁及び種皮の有効利用, No.15, 52-54 (2005).
  - 14) 特開平 7-313088, 松下尚人, 平野尚美.
  - 15) 高宮和彦編, 「シリーズ (食品の科学) 野菜の科学」, p.18, 朝倉書店 (1993).
  - 16) 三菱化学フーズ株式会社, パンフレット.

### Abstract

Numerous vegetables are cultivated in Hokkaido, and most of the crops that are unsuitable for sale as fresh produce are discarded, used to produce animal feed, or composted. In 2008, the quantity of vegetables in Hokkaido that were unsuitable as fresh produce amounted to approximately 20,225 tons.

In order to utilize less-than-perfect produce as food materials, I examined processing methods that could be used to transform these vegetables into a smooth paste. Specifically, I applied enzymatic processing methods to degrade *Cucurbita pepo*, Ebiu squash, and broccoli and clarified the changes due to liquefaction.

Subsamples of each vegetable were liquefied by incubation at 50°C with each of three enzymes: cellulase (sucrase C: 0.1%), hemicellulase (sucrase X: 0.05%), and pectinase (sucrase N: 0.1%). The liquefaction rate was 78.0% after 150 min for *Cucurbita pepo*, 44.9% after 75 min for Ebiu squash, and 20.5% after 75 min for broccoli.

The viscosity of the resulting vegetable paste decreased from 4750 to 10 mPa · s after 150 min for *Cucurbita pepo*, from 6300 to 580 mPa · s after 75 min for Ebiu squash, and 9260 to 4310 mPa · s after 75 min for broccoli. Thus, the pastes produced from *Cucurbita pepo*, Ebiu squash and broccoli were very liquid.

While the dietary fiber of vegetables is degraded by enzymes, further mechanical processing could produce a paste with a considerably smoother texture. Such a paste could readily be used in the commercial production of sweets, confectionary items, or beverages.